

3차원적 구조분석을 통한 천장관절염의 조기진단

○전 재한*, 김 선일**, 이 두수*

* 한양대학교 공과대학 전자공학과 ** 한양대학교 의과대학 계량의학교실

Early Detection of Sacroiliitis by 3-Dimensional Analysis

Jae Han Jun*, Sun Il Kim**, Doo Soo Lee*

* Dept. of Electronic Eng., Hanyang University, ** College of Medicine, Hanyang University

abstract

Currently, detection of sacroiliitis is necessary in detection of ankylosing spondylitis. So early detection of sacroiliitis is needed for early detection of ankylosing spondylitis. But it is difficult to detect sacroiliac abnormalities in early stage by conventional plain X-ray. Therefore, it is performed 3-dimensional volume rendering from the CT image of sacroiliac. Then early detection of sacroiliitis is made by analyzing the reconstructed 3-dimensional image.

1. 서 론

천장관절염은 강직성 척추염의 대표적인 병변이다. 강직성 척추염은 혈청음성 척추 관절염의 대표적인 질환으로, 천장관절염(sacroiliitis)과 척추염을 특징으로 하는 만성 염증 질환이다. 강직성 척추염은 인식의 부족으로 인하여 기계적 요통이나 다른 질환으로 오인하기 쉬우며, 특징적인 증상이 있더라도 천장관절염이 없는 경우에는 강직성 척추염으로의 진단이 곤란하다. 그런데, 아직까지 천장관절염의 조기 진단이 쉽지 않아 강직성 척추염의 조기 진단에 적합한 진단 기준이 미흡한 실정이다.

이에, 천장관절염의 조기 진단을 위해, 현재까지 사용되어 오던 단순 X-선 사진 대신 CT를 사용하여 3차원 화상을 구성하고 이를 분석해 보았다. 천장관절염에 의한 천장관절의 구조적 변화는, 초기에는 피질(cortex)의 침식과 연골 밑 부분의 경화로 인해 뼈 표면이 거칠어지다가, 광범위한 피질의 침식에 의해 관절 부분이 조금 넓어지고, 더 진행된 골성화된 재생조직들에 의해 돌출된 부위가 생기게 된다. 이 돌출부들이 확장되면서 관절이 다시 좁아지게 되고,

결국 양쪽 뼈가 연결된 부분... ,다가 두 뼈가 붙어 버린다.[3] 그러므로, 뼈의 표면 상태와 뼈 사이의 간격 상태를 분석하면, 천장관절염의 유무와 상태의 심한 정도를 알 수 있다.

천장관절에 대한 CT 화상을 입력으로 하여 관절에 해당하는 뼈의 표면 데이터를 추출하고, 이를 분석하여 관절의 상태를 파악한다.

2. 전처리 과정

관절 상태를 평가하는데 필요한 뼈의 관절 부분의 표면 데이터를 추출해낸다.

CT 촬영 장치로 부터 나오는 데이터를 이후의 처리에 편리하도록 xyz 공간에서 순차적인 구조로 변환시킨 다음, 세그멘테이션(segmentation) 기법[4]을 사용해 각 CT화상으로부터 천골(sacrum)과 장골(iliium)을 추출해낸다. 그리고, 추출해낸 천골과 장골의 표면 데이터로 부터 윤곽선을 구해 내고, 그 중에서 관절 부분의 표면만을 추출한다.

데이터의 재구성과 천골과 장골의 추출은 ANALYZE™ 프로그램을 사용하여 처리한다. ANALYZE™은 Biomedical Imaging Resource, Mayo Foundation에서 제작된 3차원 화상 처리 프로그램이다.

윤곽선 추출은 윤곽선에 대해 4-connected neighbor 개념 [4]을 적용하여, 4-connected neighbor 중에 밝기값이 0인 화소가 있을때 이 화소를 윤곽선의 화소로 정의한다. 그러므로 이러한 화소들만을 추출한다.

관절 부분의 표면 추출은, 관절을 양쪽 뼈 사이의 거리가 일정값 이하인 부분으로 정의하여 처리한다. 즉, 뼈가 맞물려 있는 양 끝에서 부터 관절의 길이를 측정하여 일정값 이하가 되는 두 부분 사이를 관절 부분으로 선택한다.

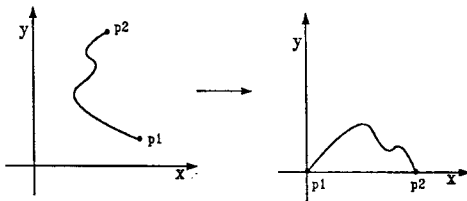
3. 진 단

전처리 과정에서 구한 관절 부분의 표면 데이터를 바탕으로 표면의 거친 상태와 돌출 부분의 존재 여부, 관절폭의 상태를 평가하여 천장관절염의 진단을 한다.

표면 상태와 돌출 부분의 존재 여부는 양쪽 뼈에 대한 각각의 독립적인 평가로, 표면의 모양에 대한 주파수 성분을 구해 주파수 영역에서 평가하며, 관절폭의 상태는 관절폭에 대한 통계치들을 구하여 이를 기준으로 판단한다.

3.1 표면 상태와 돌출 부분 평가

주파수 영역으로의 변환은 DFT(Discrete Fourier Transform) [4][5]를 사용하여 처리하는데, transverse 방향의 각 단면에 대해서 1차원 DFT를 한 후 이들의 ensemble average[6]를 구하여 이를 기준으로 진단을 한다.



< 그림 1 > 데이터 변환

DFT를 하기 위해서는 먼저 표면 데이터로부터 DFT 입력 수열을 구성해야 한다. 추출한 관절 부분의 표면 데이터로부터 각 화소의 좌표를 좌표 변환시켜, 관절의 양 끝점을 잇는 직선을 기준축으로 하는 수열을 구성한 후, 이 수열을 바탕으로 1차 함수 보간법을 사용하여 한 화소 간격으로 일정하게 샘플링된 수열을 재구성한다. 이 수열을 입력으로 하여 DFT를 한다. 관절의 양 끝점을 잇는 직선을 기준축으로 하는 수열을 구성하는 것은, DFT를 할 때 양 끝의 값을 일치시켜야 하는 문제를 해결하기 위해서이다.

입력 수열을 $x[n]$, $0 \leq n \leq N-1$ 이라 하면, DFT 계수는

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] * e^{-j(2\pi/N)kn}, \quad 0 \leq k \leq N-1$$

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] * e^{-j(2\pi/N)kn}, \quad 0 \leq n \leq N-1$$

이고, 주기가 $p = N / k$ 인 성분의 진폭은

$$\text{amp } F(n) = \frac{1}{N} (\text{amp } X[k] + \text{amp } X[N-k])$$

이다. k 가 0인 직류 성분의 경우는 그 크기가 $\text{amp } X[0] / N$ 이다.

이 DFT 결과로부터 표면 상태와 돌출 부분의 존재 여부에 대한 평가를 하게 되는데, 고주파 성분이 많이 포함되어 있으면 표면상태가 거침을 알 수 있고, 중간 주파수 성분이 많이 포함되어 있으면 그 주파수에 해당되는 돌출 부분이 존재함을 알 수 있다.

3.2 관절폭의 통계치

관절폭의 통계치는 관절의 폭에 대한 통계적인 계산을 하여 구한다. 관절폭을 L , 측정된 횟수를 N 이라 하면 평균과 분산은 다음과 같다.[6]

$$\text{평균} = \frac{\sum L}{N}, \quad \text{분산} = E^2[L] - E[L]^2$$

평균값이 표준값이하이면 이미 관절의 폭이 좁아져 있음을 알 수 있고, 관절폭이 0인 통계치들이 많으면 두 뼈가 연결된 부분이 있음을 알 수 있으며, 통계치들의 분산이 크면 이는 돌출 부분이 있을 가능성을 나타낸다.

4. 실험 결과

본 연구에서는 한양대학교 부속 병원의 류마티스 센터에서 촬영한 3명의 강직성 척추염 환자와 1명의 정상인의 골반 부위의 CT 화상을 처리, 분석해 보았다. 환자 3명 중에서 2명은 증세가 가벼운 사람들이며, 1명은 증세가 심한 사람이다.

양쪽 천장관절 중에서 왼쪽의 관절에 대한 처리 결과는 다음과 같다. 평가 대상자 중에서 정상인을 A, 상태가 심한 환자를 B, 증세가 가벼운 환자를 각각 C, D로 표시한다. 그리고, DFT 결과는 ensemble average를 몇 개의 주파수 대역으로 나누어 그 대역내의 주파수 성분들의 크기를 합한 것이며, 주파수 성분의 크기는, 비교를 위해 그 값이 너무 작아지지 않도록 원래의 크기에 DFT의 point수를 곱한 값을 사용했다.

** 관절폭의 통계치 **

	0	1	2	3	4	평균	분산
A	0	28	312	507	316	3.6458	2.7032
B	145	286	327	250	129	2.7609	5.5668
C	0	2	154	448	306	3.7023	2.8487
D	2	60	306	316	196	3.4918	3.1455

o 관절폭의 통계치는 4까지만 사용한다.

*** DFT 결과 ***

주기	고 주 파		중간 주파수		직 류	
	2-3	3-4	8-10	10-20		
A	천골	48.3922	34.0395	29.4598	80.4047	101.724
	장골	46.7085	31.7950	20.4474	64.8855	111.154
B	천골	59.4870	41.6729	45.7390	125.810	142.393
	장골	59.5351	41.2249	41.3722	110.902	171.838
C	천골	62.6244	35.9152	26.7836	70.5331	72.4673
	장골	57.6439	32.5824	32.6025	76.1959	92.7292
D	천골	52.8600	37.6199	25.0939	89.6554	173.499
	장골	62.1226	42.3136	45.1244	110.353	153.957

o 주기와 진폭의 단위는 화소이다.

A가 정상인이므로, A를 기준으로 하여 다른 사람의 상태를 평가한다.

B의 경우를 보면, A에 비해 천골과 장골이 모두 고주파 성분과 중간 주파수 성분이 강해 표면 상태가 거칠고 돌출 부분이 많아 울퉁불퉁하다고 판단된다. 관절쪽의 평균이 작아 관절이 좁아져 있음을 알 수 있고, 분산이 큰 것은 돌출 부분이 많음을 뒷받침해 주고 있다. 그리고, 관절쪽이 0인 부분이 많아 이미 두 뼈가 연결된 곳이 많이 있음을 알 수 있다. 이는 전형적인 천장관절염의 말기 상태로, B가 상태가 아주 심한 환자임을 알 수 있다.

C의 경우는, 중간 주파수 성분이 미약하므로 돌출 부분은 없으나, 고주파 성분에서 주기가 2 - 3 화소인 성분이 강해 표면 상태가 거칠음을 알 수 있다. 그리고, 관절쪽의 통계치들은 A와 비슷하다. 그러므로, C는 전형적인 천장관절염의 초기 상태에 해당된다.

D는, 천골은 표면 상태도 매끄러운 편이고 돌출 부분도 없지만, 장골은 표면 상태도 거칠고 돌출 부분도 많음을 알 수 있다. 그리고, 관절쪽의 통계치를 보면 평균은 적정 상태를 유지하고 있으나, 분산이 조금 크고 관절쪽이 0과 1인 부분이 조금 있어 부분적으로 관절쪽이 좁아진 곳이 있음을 알 수 있다. 그러므로, D는 장골쪽의 연골은 이미 심한 침식을 당했으며 천골쪽의 연골의 침식이 시작되는 상태로, 이미 천장관절염이 어느 정도 진행된 경우로 판단된다.

이와 같이 실험 결과는 실제 상태와 일치하고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 CT 화상 자료를 입력으로 하여, 천장관절의 3차원적인 구조 분석을 통해 천장관절염의 진단을 해 보

았다.

그 결과, 종래의 단순한 X-선 사진으로는 진단이 불명확했던 초기 상태의 환자에게서도 정량적인 병리적 변화를 발견할 수 있었다. 그러므로, CT 화상등의 3차원 화상을 사용하여 3차원적 구조 분석을 하면 천장관절염의 초기 진단이 가능하며, 따라서 강직성 척추염의 초기 진단이 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] Jean Louis Coatrieux, Christine Toumoulin, Christine Hamon, Limin Luo, 'Future Trends in 3-D Medical Imaging', IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY, December, 1990.
- [2] John G Webster, 'ENCYCLOPEDIA OF MEDICAL DEVICES AND INSTRUMENTATION', Wiley.
- [3] Harrison, 'PRINCIPLES OF INTERNAL MEDICINE', Vol 2.
- [4] Anil K Jain, 'FUNDAMENTALS OF DIGITAL IMAGE PROCESSING', Prentice-hall.
- [5] Alan V Oppenheim, Ronald W Schafer, 'DISCRETE-TIME SIGNAL PROCESSING', Prentice-hall.
- [6] Alberto Leon-Garcia, 'Probability and Random Processes for Electrical Engineering', Addison Wesley.
- [7] R A Robb, C Barillot, 'Interactive Display and Analysis of 3-D Medical Images', IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol 8, No 3, September 1989.
- [8] William H Press, Brian P Flannery, Saul A Teukolsky, William T Vetterling, 'Numerical Recipes in C', Cambridge university press.